

단위비행체계의 승무원 일일 비행스케줄링에 관한 연구 (A Study on the Daily Squadron Crew Scheduling)

이 유 인*

Abstract

Squadron crew scheduling problems can be defined as the assignment of crews to flights consistent with safety regulations and squadron policy.

In this paper, the daily crew scheduling problems are formulated as zero-one interger programs known as generalized assignment problems. The objective function is to maximize the weighted mission interval to improve the crew performance. Flight schedules using the 0-1 integer model are compared with manual schedules.

The results of the study show that the average crew performance is improved.

1. 서 론

무기체계는 국가안전보장을 위한 수단으로서 유사시 갖고 있는 역량을 최대한 발휘하여 소기의 목적을 달성할 수 있도록 하는데 그 존재가치가 있는 것이다. 대량보복능력을 갖고 있는 항공무기체계는 전쟁발발을 억지하는 측면에서 커다란 비중을 차지하고 있다.

이러한 항공무기체계의 기본운영단위인 단위비행체계는 주어진 운영자원을 효율적으로 이용하여 소속요원의 전투역량을 극대화해야 하는 기본임무를 갖고 있다.

단위비행체계에서 이러한 기본임무를 수행하기 위한 업무중 가장 중요한 것의 하나가 일일 비행계획을 작성하는 것이다. 단위비행

* 공군본부

체계의 승무원 스케줄링문제는 승무원/항공기의 가용범위, 일일 최대탑승가능횟수, 최소 재임무시간(turn around time), 그리고 체계의 정책 등을 제약사항으로 하는 임무할당문제로 정의될 수 있다. 이러한 문제와 관련된 기존의 연구는 다음과 같은 분야를 들 수 있다.

항공교통이 널리 보급됨에 따라 항공회사들은 비용을 절감하고 수익을 증대시키기 위하여 승무원 스케줄링문제를 수식화하고 그 해법을 개발하기 위하여 많은 노력을 기울여 오고 있다[1, 3, 4, 6, 9, 10]. 특히 승무원 스케줄링문제를 풀기 위하여 Spitzer[13]는 지역분할(set partitioning) 모델을 처음으로 사용하였으며 이 분야의 일반적인 접근방법이 되었다 [5].

간호원 근무할당문제는 간호원의 선호도, 병원의 근무정책 등의 목적들을 적절히 절충하여 근무계획표를 작성하는 것이다[11, 15]. 이러한 목적을 달성하기 위하여 Arthur[2]는 상황에 따라 계획자의 의도를 적절히 반영할 수 있는 목적계획법(goal programming)으로 모델을 구성한 바 있다.

대학당국이 시간표를 작성하는 과정은 일반적으로 다음 두단계로 이루어진다고 볼 수 있다. 먼저 대학당국이 교과과정을 설정하면 학생들은 필요한 강의를 신청하고 대학당국은 수집된 각 강의별 학생수, 교수진의 선호도

등을 참조하거나 기타 적절한 효과척도를 기준으로 하여 각 강의를 적합한 시간과 강의실에 배정하게 된다[7, 16]. Malvey는 이러한 문제를 해결하기 위하여 강의중 사용되는 좌석수의 비율을 최소화하는 모델을 수립하였다 [12].

본 연구의 대상인 단위비행체계는 일일 비행계획을 통하여 승무원 및 항공기를 운영하고 있는 소규모의 체계로서 위의 세가지 경우와는 다음과 같은 차이점을 내포하고 있다. 첫째, 매일의 변동요소 때문에 단위비행체계는 일회의 비행계획 내용을 반복하여 사용할 수 없다. 둘째, 예산범위 내에서 할당된 자원을 효과적으로 사용하여 체계의 능력을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 셋째, 세가지 경우의 문제는 규모가 큰 반면에 단위 비행체계의 문제는 규모가 비교적 작아 정수 계획법을 실용적으로 사용할 수 있다.

본 연구에서는 컴퓨터를 이용하여 매일 반복되는 비행계획 업무를 보다 합리적이고 체계적으로 구현하고자 한다. 이를 위하여 계획 수립시 고려되어야 하는 제반제약 사항과 체계의 정책을 제약식으로 하는 0-1 정수계획 모델을 수립하고 실제자료를 이용하여 이를 검증한다.

2. 비행계획의 요건 및 단계

비행계획 수립자(scheduler)가 비행계획을

작성시 안전한 측면과 효율적인 측면을 동시에 고려하여야 단위비행체계가 원하는 소기의 목적을 달성하게 된다. 비행계획에서의 실수는 곧 비행안전에도 직접적인 저해요소가 되는 것으로, 항공기 사고는 흔히 계획의 소홀로 인하여 발생하는 예가 많음을 볼때 계획 수립자는 다음과 같은 사항을 염두에 두고 계획에 임하여야 한다.

첫째, 비행계획을 수립함에 있어서 관련되는 제반요소가 조금이라도 무리됨이 없어야 한다. 비행에 관련되는 요소로서는 승무원, 항공기, 기상조건, 임무과목, 비행훈련공역, 그리고 제반비행지원체제 등을 들 수가 있다. 이러한 요소들에 조금이라도 무리됨이 없이 원활한 상태에서 비행할 수 있도록 계획해야 한다.

둘째, 비행편조(flight crew)를 구성함에 있어서 각 승무원은 비행능력면에서 상호 보완할 수 있어야 한다. 능력으로 봐서 약한 승무원(요기: wingman)에 대하여는 강한 리더(편대장: flight commander)가, 상대적으로 약한 편대장에 대하여는 강한 요기가 비행편조로 구성되어야 한다.

셋째, 비행훈련에 영향을 주는 요소를 최소로 하여 훈련 성과나 비행안전효과를 최대로 해야 한다. 비행훈련에 영향을 주는 요소는 항공기 정비에 필요한 인적, 물적자원 또는 비행시 소모되는 물적자원과, 비행이 내포하

고 있는 안전위해정도의 두가지로 구분된다.

단위비행체계를 운영하기 위해서는 상부부서의 운영지침에 따라 비행에 직접관련된 인적, 물적 자원을 획득하고 이를 효과적으로 배분하여 비행훈련에 이용하게 된다. 비행계획은 본 연구의 자료흐름을 기준하면 다음과 같이 연간, 주간, 일일 등의 세단계로 이루어진다.

첫째, 연간 비행계획은 체계의 연간 운영방침에 따라서 비행에 직접 관련된 인적, 물적 자원을 획득하고 임무 과목별 임무 구성비용을 결정하는 단계이다. 여기서 임무과목이란 전투기동, 대지사격, 공중요격 등 약 열가지의 비행과목을 의미한다. 계획 수립자는 체계에 부여된 전시임무를 고려하여 각 임무과목의 구성비용을 설정하고, 승무원 및 항공기의 가용범위와 누적된 기상자료로부터 얻은 비행 가능 일수를 참작하여 연간 임무과목별 총비행횟수(total sorties)를 결정한다.

둘째, 주간 비행계획은 작전임무나 비행훈련을 위한 실제적인 비행계획의 시작으로 일일 총 비행횟수와 각 임무과목별 비행횟수를 결정하는 단계이다. 이때 승무원 및 항공기의 가용범위, 사용가능한 임무지역, 상위부서의 지시임무, 할당된 비행시간대, 주간 기상예보 등을 참작하게 된다. 이 단계에서는 작전이나 훈련을 위하여 필요한 임무과목과

비행횟수를 일별로 결정하므로 일일 비행계획에 일정한 방향을 제시하게 된다.

세째, 일일 비행계획은 주간비행계획 내용을 기초로 하여 계획 당일의 변동 요소를 고려한 세부적인 임무과목, 비행시간, 편조, 임무지역, 항공기 형태(configuration), 각종 근무계획 등을 결정하는 단계이다. 비행계획 수립자는 상부지시 및 제한사항, 승무원 및 항공기의 가용 범위, 예보된 기상상태 등을 고려하여 총비행횟수, 세부적인 임무과목 및 시간, 각 임무에 필요한 항공기의 종류 및 댓수를 결정한다. 다음, 각 임무에 적합한 승무원을 비행계획 수립자의 경험과 판단에 따라서 할당하여 일일 비행계획을 종료한다.

3. 모델의 설정

비행임무를 계획 및 실천하고 있는 단위비행체계는 비행에 직접 관련된 인적, 물적 자원 뿐만 아니라 이를 지원하는 제반시설 및 인원으로 구성되어 있다. 본 연구에서 다루고자 하는 단위비행체계에서 비행에 직접 관련된 인적 자원은 비행기량에 따라 교관(instructor pilot), 편대장, 분대장(element commander), 요기 등의 네가지 자격으로 구분되어 있는 비행승무원과 기타 정비능력에 따라 세등급으로 구분되는 정비요원이 있다. 또한 물적 자원인 항공기는 주로 단좌(single seat) 항공기로 구성되어 있으며 훈련을 위한

복좌(dual seat) 항공기가 있다. 따라서 본 연구의 단위비행체계는 F-5 항공기와 같은 종류의 항공기를 운영하는 전투비행대대에 국한된다.

각 승무원을 적합한 임무에 할당하기 위한 모델설정을 위하여 다음 사항을 가정한다.

가. 모든 비행임무는 각 승무원의 기량발전을 위한 훈련임무로 간주한다.

나. 각 승무원의 수행도(performance)는 임무과목별 재훈련간격에 비례하여 일정수준으로 향상된다.

다. 비행계획일의 임무과목별 비행횟수는 연간 임무구성비율에 따라 균등하게 배정되어 있다.

라. 비행계획일의 각 승무원 및 항공기의 비행가능한 횟수는 현재의 상태로 부터 알 수 있다.

마. 각 승무원의 자격과 평가된 기량에 따라서 기량향상을 위한 임무과목별 탑승 요구 순서가 체계별로 결정되어 있다.

바. 계획수립자는 각 승무원별 특성을 파악하고 있는 적절한 자격을 갖춘 비행승무원이다.

모델에서 사용하는 용어는 다음과 같이 정의한다.

X_{ij} : 승무원 i 가 임무 j 에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0인 결정변수

C_{ij} : 승무원 i 가 임무 j 의 임무과목을

수행할때 최근에 그 임무과목을 탑승했을때 부터의 경과된 시간에 승무원 자격별, 임무과 목별 탑승요구비율을 곱한 값

b_i : 승무원 i 가 비행계획일에 임무를 수행 가능한 최대횟수

D_j : 어떤 임무 j 를 수행할 수 있거나 그 임무에 반드시 필요한 승무원들의 집합

$$D_j \subset \{1, 2, \dots, n\}$$

K_{it} : 승무원 i 를 일회 이하로 할당하기 위한 최소재임시간 내에 속하는 임무들의 집합

$$K_{it} \subset \{1, 2, \dots, m\}$$

S_r : 같이 임무를 수행할 수 없는 승무원들이 편조를 이룰 수 있는 임무들의 집합

$$S_r \subset \{1, 2, \dots, m\}$$

Q_r : 같이 임무를 수행할 수 없는 승무원들이 편조를 이룰 수 있는 임무들의 집합

$$Q_r \subset \{1, 2, \dots, m\}$$

$$i=1, 2, \dots, n, \quad j=1, 2, \dots, m$$

$$t=1, 2, \dots, T, \quad r=1, 2, \dots, R$$

본 연구의 모델은 결정변수가 0 또는 1의 값을 갖는 정수계획모델으로써 결정변수는 임무 수행 가능한 승무원의 수에 할당되어야 하는 임무의 수를 곱한 만큼 설정되며 제약조건식은 경우에 따라 유동적인 크기로 다음과 같이 설정한다.

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j=1}^m X_{ij} \leq b_i, \forall i \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \forall j \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum_{t \in K_{it}} X_{ij} \leq 1, \forall i, t \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum_{i \in D_j} \sum_{r \in S_r} X_{ij} \leq 1, \forall r \dots\dots\dots (5)$$

$$\sum_{i \in D_j} X_{ij} = 1, \forall j \dots\dots\dots (6)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

식(1)은 각 승무원에게 균등한 훈련기회를 제공하기 위한 것으로서 C_{ij} 는 임무과목별 탑 간격과 자격별, 임무과목별 탑승요구비율에 따라 결정되므로 각 승무원의 탑승간격을 임 무과목별로 조절할 수 있게 된다. 식(2)는 각 승무원이 임무에 할당될 수 있는 최대횟수에 대한 조건으로서 승무원 i 는 비행계획일에 b_i 이하의 비행임무를 부여받게 된다. 식(3)은 각 임무는 그 임무를 수행할 수 있는 한 명의 승무원에 의하여 수행되어야 함을 나타낸다. 식(4)는 각 승무원이 여러 임무를 수행하는데 필요한 최소한의 시간간격에 대한 조건식이다. 식(5)는 비행능력면에서 상호보완할 수 없거나 확실한 지휘관계를 이룰 수 없는 승무원들 은 같은 편조를 구성할 수 없도록 하는 조 건식이다. 식(6)은 어떤 임무 j 를 수행할 수 있거나 그 임무에 반드시 필요한

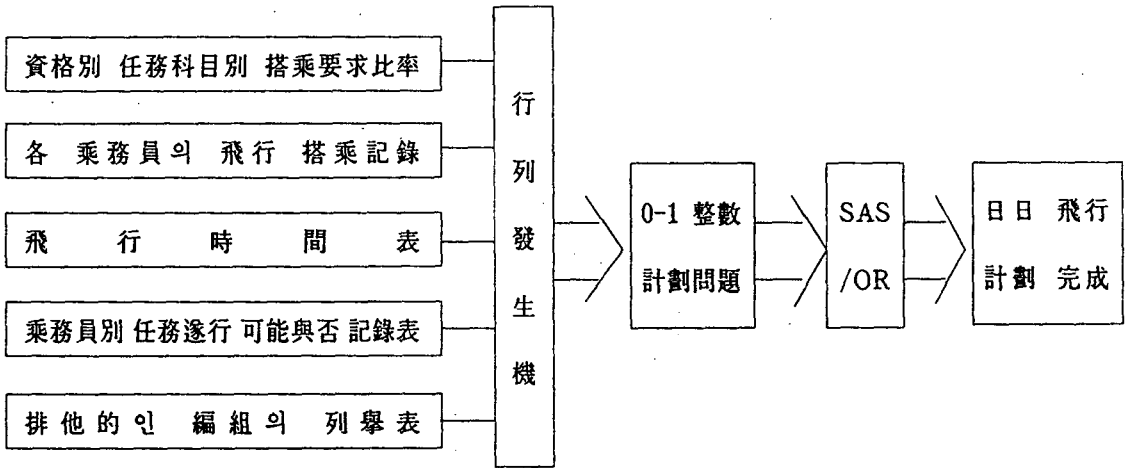


그림 4.1 일일 비행계획의 작성과정

승무원들 중에서 한 명을 그 임무에 할당토록 하는 조건식으로서 식(3)의 가능해의 영역(feasible region)을 축소시킬 수 있으므로 문제 구성시에는 식(6)을 이용하여 결정변수의 수를 감소시킨다.

4. 모델의 적용 및 결과분석

본 연구의 모델을 사용하여 일일 비행계획을 작성할 때의 결과와 수작업으로 작성되어 있는 비행계획 자료를 비교하여 모델의 타당성을 확인하고자 한다. 모델을 적용하기 위한 기본적인 자료는 분석대상기간 동안에 작전가능 상태를 유지했던 단위 비행체계의 승

무원 구성현황, 각 승무원의 기량 평가자료, 각 승무원별 비행탑승 기록, 그리고 각종 파견 및 근무 기록 등이다.

본 연구의 모델을 이용하여 비행계획 수립자가 일일 비행계획을 작성하는 과정은 다음과 같다. 첫째, 비행시간표, 승무원별 임무 가능여부 기록표 등 다섯가지 입력자료를 작성하여 행렬발생기(matrix generator)에 입력하여 0-1 정수계획 문제를 만든다. 둘째, 0-1 정수계획 문제를 풀기 위하여 SAS/OR 패키지를 사용한다. 마지막으로 출력된 해로써 일일 비행계획을 완성한다. 그림4.1은 이러한 과정을 나타낸다.

다섯가지 입력 자료중 승무원의 자격에 따른 임무과목별 탑승요구 비율과 각 승무원의 비행탑승기록은 목적함수의 비용계수를 구하기 위한 것으로써 탑승요구 비율은 분석 대상 기간 동안에 실시된 임무과목별 총 비행횟수에 자격별, 임무과목별 연간 요구량(17)의 비율을 적용하여 산출한다. 표4.1은 승무원

의 자격에 따른 임무과목별 탑승요구비율을 나타낸다. 또한 비행탑승기록은 비행계획일 이전에 탑승했던 임무의 임무과목별 비행일자 중 가장 최근의 것을 사용한다. 따라서 자격별, 임무과목별 탑승요구 비율은 항상 고정되어 있으나 각 승무원의 비행탑승기록은 비행계획을 작성할 때마다 바뀌어 진다.

표4.1 자격별, 임무과목별 탑승요구비율

任 務 科 目	要 求 比 率 (%)				비 고
	教 官	編 隊 長	分 隊 長	僚 機	
任 務 (가)	3. 4068	3. 8076	3. 8076	3. 8076	다 수
任 務 (나)	9. 4188	9. 4188	9. 4188	9. 4188	
任 務 (다)	4. 4088	4. 4088	4. 0080	4. 0080	
任 務 (라)	3. 4068	3. 6072	4. 0080	4. 0080	
任 務 (마)	1. 8036	2. 0040	2. 2044	2. 2044	
기 타 任 務	0. 8016	0. 8016	0. 8016	0. 8016	

비행계획의 시작이라고 할 수 있는 비행시간표 작성은 다음과 같은 방법을 통하여 이루어진다. 먼저 비행계획 수립자는 주간 비행계획 내용중에서 비행계획일에 해당하는 임무과목별 총 비행횟수를 실시 가능한지 점검한다. 이때 승무원 및 항공기의 가용범위, 상위 부서의 지시, 기상예보 등을 고려한다. 둘째, 실시가능한 임무 과목의 비행횟수 및 임무시간, 필요한 항공기의 종류 및 댓수 등을 결정하여 비행시간표 완성한다. 표4.2는 비행시간

표의 예를 나타낸다.

비행시간표는 수행되어야 할 임무과목, 필요한 항공기 등이 결정되어 있으나 어떤 승무원을 어떤 임무에 할당할 것인가는 결정되어 있지 않다. 비행계획 수립자는 수리적인 모델을 통하여 각 승무원을 적합한 임무에 할당하기 위하여 각 승무원이 수행 가능한 임무들을 결정하고 이를 승무원별 임무 수행 가능 여부 기록표에 기입한다. 이때 각 임무과목의 특성, 각 승무원의 파견 또는 근무현황,

표4.2 비행 시간표

호출 부호	승무원	임무과목	임무 지역	이착륙 예정시간	비고	호출 부호	승무원	임무과목	임무 지역	이착륙 예정시간	비고
J	—/—	임무(다)	H-2	0630-0800	MccFH	N	—/—	임무(가)	A-19	1120-1210	DccFH
	—/—						—/—				
K	—/—	임무(나)	H-2	0720-0850	MccFH	O	—/—	임무(가)	A-20	1150-1250	LccFH
	—/—						—/—				
L	—/—	임무(마)	R-7	0845-0945	McfSH	J	—/—	임무(다)	H-1	0030-0200	MccFH
	—/—						—/—				
	—/—					K	—/—	임무(다)	H-1	0240-0410	MccFH
	—/—						—/—				
M	—/—	임무(가)	A-9	1015-1105	MccFH						
	—/—										

승무원별 자격 등을 고려하여 일일 최대 비행 가능횟수와 각 승무원이 수행가능한 임무들을 기입한다. 표4.3은 표4.2의 비행시간표에 따라서 각 승무원의 임무 수행가능 여부를 기입한 것이다.

각 승무원의 임무별 탑승가능여부를 결정할 때는 승무원들간의 관계를 무시하였기 때문에 어떤 편조는 바람직하지 않은 인적 구성형태를 이룰 수도 있다. 이러한 경우가 발생하지

않도록 하기 위하여 같은 편조를 이루지 않아야 하는 승무원들이 동시에 임무수행 가능하다고 결정된 경우를 찾아내어 그러한 편조와 승무원들을 표4.4와 같이 차례대로 기입한다.

본 연구에서는 이렇게 작성된 입력자료로서 0-1 정수계획문제를 만들어 SAS/OR 패키지를 사용하여 해를 구하였다. 컴퓨터(IBM 4341)의 계산시간은 평균 약30초가 소요되었

표 4.3 승무원별 임무수행 가능여부 기록표

성명	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	최대임무 가능횟수	가능경우 의 수
승무원 1	X																										0	0	
승무원 2	0																										27	1(근무)	1
승무원 3	0			4						10	12	13			16	18					22						2	7	
승무원 4	0								9			13			16	18					22						1(근무)	5	
승무원 5	0	1			5		7			10		13				18											1(근무)	6	
승무원 6	0										11									21	21	23					2	3	
승무원 7	0	1			5		7			10		13				18				20	22		24				2	9	
승무원 8	0	1			5		7			10		13				18				20	22		24				2	9	
승무원 9	0			4					9	10		13			16	18											2	6	
승무원 10	X																										0(파견)	0	
승무원 11	0			4	5		7		9	10		13			16	18				20	22		24				2	11	
승무원 12	0	1		4	5		7		9	10		13			16	18				20	22		24				2	12	
승무원 13	0	1			5		7			10		13								20	22		24				2	8	
승무원 14	X																										0(휴가)	0	
승무원 15	0									10		13	14			17				20	22			25	26		2	8	
승무원 16	X																										0(파견)	0	
승무원 17	0												14	15	17									25	26		2	5	
승무원 18	0		3			6						14	15	17										25	26		2	7	
승무원 19	0	2	3			6						14	15	17										25	26		2	8	
승무원 20	X																										0(교육)	0	
승무원 21	X																										0(파견)	0	
승무원 22	X																										0(파견)	0	
승무원 23	0	2	3			6						14	15	17										25	26		2	8	
승무원 24	0							8					15		15	17				21	21	23				2	4		
승무원 25	0	2											15		15				19							2	3		

표4.4 배타적인 편조의 열거표

순 번	編組內 先任務		編組內 後任務	
	임무번호	해당 승무원 순번	임무번호	해당 승무원 순번
1	1	8	4	9
2	1	12	4	11
3	10	7	11	6
4	13	15	14	17, 18, 19, 23
5	20	7	21	6
6	20	11, 12	22	11, 12
7	22	7	23	6
8	20	15	21	24
9	22	15	23	24

으며 자료 입력 및 출력 시간을 합하면 약1분이 소요되었다.

단위비행체계의 승무원 스케줄링 문제를 본 연구의 모델을 이용하여 푼 경우와 수작업으로 작성한 경우와의 비교를 위한 분석대상기간을 4개월로 하였다. 두 경우에 대한 비교항목은 승무원의 자격별, 임무과목별 탑승간격의 변동량의 비행탑승횟수, 승무원의 자격에 따른 임무과목별 수행도 등이다.

승무원의 자격별, 임무과목별 비행탑승간격의 변동량을 비교하기 위하여 분석대상기간 동안에 각 승무원에게 부여된 임무에 대한 임무과목별 탑승간격을 조사하였다.

두 경우의 승무원의 자격별, 임무과목별 탑승간격의 변동량에 대한 비교를 위하여 두 모집

단의 분산에 관한 검정을 실시한다.

- 가 설

$$H_0: \sigma_2^2(i, j) = \sigma_1^2(i, j)$$

$$H_1: \sigma_2^2(i, j) < \sigma_1^2(i, j)$$

- 유의수준 α 는 5%로 정한다.

- 기각역의 설계

검정통계량 $F(i, j) = S_1^2(i, j)/S_2^2(i, j)$ 는 $\sigma_2^2(i, j) = \sigma_1^2(i, j)$ 일때 자유도 $(n_1(i, j)-1)$, $(n_2(i, j)-1)$ 인 F분포를 하므로 만약 가설 H_0 가 진실이면

$$\Pr(F(i, j) > F_{\alpha; n_1(i, j)-1, n_2(i, j)-1}) = \alpha$$

이므로 기각역은 다음과 같다.

$$C(i, j) = (F_{\alpha; n_1(i, j)-1, n_2(i, j)-1}, \infty)$$

단, $n_1(i, j)$, $\alpha_1^2(i, j)$, $S_1^2(i, j)$ 는 수작업시 자격 i , 임무과목 j 에 대한 표본의 크기,

탐승간격의 모분산 및 표본분산이고 $n_2(i, j)$, $\alpha_2^2(i, j)$, $S_2^2(i, j)$ 는 모델 적용시 표본의 크기, 탐승간격의 모분산 및 표본분산이다. 승무원의 자격에 따른 임무과목별 기각역 및 점정

결과는 표4.5와 같다. 점정결과로부터 알 수 있듯이 본 연구의 모델을 적용하여 비행계획을 작성하면 수작업시보다 임무과목별 탐승간격의 변동량이 감소된다.

표4.5 탐승간격의 변동량에 대한 비교

자격	임무과목	관측횟수		평균탐승간격		탐승간격의분산		F	기각역	판정
		수작업	모델	수작업	모델	수작업	모델			
교관	임무(가)	93	71	6.11	7.11	39.12	23.10	1.69	1.46	기각
	임무(나)	145	160	4.65	4.26	26.69	10.89	2.45	1.32	기각
	임무(다)	63	62	7.35	8.50	58.49	47.57	1.23	1.53	채택
	임무(라)	97	78	5.88	7.92	46.32	28.25	1.64	1.45	기각
	임무(마)	48	41	9.56	12.07	88.08	44.37	1.99	1.66	기각
편대장	임무(가)	32	42	10.53	10.52	97.99	35.04	2.80	1.74	기각
	임무(나)	130	134	3.37	3.29	8.19	4.76	1.72	1.34	기각
	임무(다)	50	53	7.26	6.66	34.69	18.88	1.84	1.59	기각
	임무(라)	53	64	7.60	7.28	73.17	24.94	2.93	1.55	기각
	임무(마)	28	39	13.43	10.79	265.74	49.96	5.32	1.78	기각
분대장	임무(가)	23	23	10.00	9.61	84.91	58.34	1.46	2.05	채택
	임무(나)	59	62	4.00	3.74	24.86	6.62	3.76	1.53	기각
	임무(다)	21	21	8.24	9.14	30.69	24.93	1.23	2.12	채택
	임무(라)	26	25	6.62	8.00	68.49	27.00	2.54	1.98	기각
	임무(마)	16	13	7.81	11.31	45.63	71.23	0.64	2.62	채택
요기	임무(가)	53	55	8.81	7.75	75.73	45.97	1.65	1.59	기각
	임무(나)	173	164	3.88	4.07	22.61	11.47	1.97	1.31	기각
	임무(다)	55	51	8.29	9.47	114.40	54.61	2.09	1.59	기각
	임무(라)	52	64	8.73	8.20	120.28	38.39	3.13	1.55	기각
	임무(마)	22	32	15.77	11.66	323.23	76.68	4.21	1.91	기각

표4.6 자격별, 임무과목별 비행탑승비율

자격	성명	자격별, 임무과목별 비행탑승율 (%)										비고
		임무(가)		임무(나)		임무(다)		임무(라)		임무(마)		
		수작업	모델	수작업	모델	수작업	모델	수작업	모델	수작업	모델	
교관	승무원 1	9.16	13.81	10.29	15.28	11.72	15.42	25.45	11.89	32.82	14.11	100/7 = 14.29
	승무원 2	17.79	15.89	12.73	11.66	12.53	10.14	9.38	16.94	7.38	15.08	
	승무원 3	15.96	11.79	11.48	9.36	10.65	10.78	11.52	16.00	12.20	14.24	
	승무원 4	11.73	13.98	18.32	18.46	13.22	11.15	15.67	13.04	11.36	13.26	
	승무원 5	20.46	14.76	15.63	15.16	12.53	12.68	10.32	15.88	9.23	16.96	
	승무원 6	12.52	13.98	16.79	13.85	13.22	13.38	18.97	13.97	22.72	13.26	
	승무원 7	12.37	15.79	14.76	16.22	26.14	26.45	8.70	12.27	4.28	13.11	
편대장	승무원 8	4.74	20.93	19.70	19.17	20.46	20.07	18.10	17.11	16.58	17.17	100/5 = 20.00
	승무원 9	17.35	15.93	17.96	19.40	19.63	21.00	24.11	22.04	26.03	24.71	
	승무원 10	18.72	17.55	27.63	24.42	17.97	20.34	10.84	15.61	7.28	16.97	
	승무원 11	29.46	23.68	13.44	18.29	16.97	19.21	24.57	24.57	24.07	18.69	
	승무원 12	29.74	21.91	21.28	18.73	24.98	19.39	22.39	20.67	26.03	22.46	
분대장	승무원 13	39.12	33.58	16.52	28.52	43.23	47.70	27.13	38.97	30.70	43.23	100/3 = 33.33
	승무원 14	24.75	25.49	41.39	33.56	32.82	25.87	54.08	39.45	46.62	32.82	
	승무원 15	36.13	40.93	42.10	37.92	23.95	26.43	18.79	21.59	22.68	23.95	
요기	승무원 16	0.00	6.69	10.83	12.09	8.41	8.35	9.81	9.54	9.62	7.16	100/10 = 10.00
	승무원 17	16.37	10.24	9.20	11.92	8.58	9.58	16.25	13.62	19.61	18.26	
	승무원 18	11.79	14.75	10.82	11.72	8.34	7.36	15.13	14.30	8.48	15.79	
	승무원 19	13.92	4.64	19.53	15.93	21.87	17.37	15.30	9.93	25.01	11.18	
	승무원 20	0.00	9.51	9.23	11.00	7.17	12.46	14.63	8.14	8.20	12.22	
	승무원 21	0.00	5.80	7.51	6.29	0.00	10.86	0.00	4.96	0.00	9.31	
	승무원 22	7.42	10.83	9.51	7.27	11.66	5.79	6.80	9.26	13.34	9.94	
	승무원 23	19.33	12.89	5.22	6.99	12.15	9.05	7.08	13.79	6.95	5.17	
	승무원 24	17.59	13.33	10.36	9.64	13.82	11.23	8.79	7.99	5.73	6.42	
	승무원 25	13.58	11.32	7.79	7.16	8.00	7.94	6.22	8.47	3.05	4.54	

승무원들의 자격에 따른 임무과목별 탑승횟수를 비교하기 위하여 분석대상기간 동안에 승무원들이 임무과목별로 임무를 부여받은 횟수와 그 동안에 각종 파견으로 인하여 비행하지 못했던 기간을 조사하였다. 먼저 아래의 식(7)을 이용하여 각 승무원에 대한 4개월 동안의 임무과목별 평균 비행횟수를 구한다.

$$\text{평균비행횟수} = \text{비행횟수} \times \frac{\text{분석대상기간(일)}}{\text{분석대상기간} - \text{파견기간(일)}} \quad \dots\dots (7)$$

그런데 수작업시와 모델 적용시의 두 경우에 있어서 임무과목별 총평균비행횟수는 서로 다르므로 비교를 위하여 각 승무원의 임무과목별 평균비행횟수가 차지하는 비율을 다음 식(8)로 구한다.

$$\text{승무원 } i \text{의 비행탑승비율} = \frac{\text{승무원 } i \text{의 평균비행횟수}}{\text{자격별 총평균비행횟수}} \quad \dots\dots (8)$$

표4.6은 승무원들의 임무과목별 평균비행횟수를 승무원의 자격에 따라 각각이 차지하는 비율로써 나타낸 것이다.

마지막으로 승무원들의 자격에 따라 임무과목별 수행도를 비교하기 위하여 4개월간의 임무과목별 비행탑승간격을 이용하여 평균수행도(average performance)를 구하였다.

여기서 수행도란 승무원의 기량으로써 임무

기간 동안에 주어진 상황하에서 임무의 목적을 달성할 수 있는 정도라고 정의될 수 있다.

Tillman 등(14)은 군사체계에 대한 임무효과와 모의실험모델에서 '임무의 성공정도는 조작자의 자질에 의존하며 최근의 재훈련으로부터 경과된 기간에 따라 감소한다.'고 하였다. 이를 기초로하여 이창훈 등(8)은 조작자의 수행도(operator performance)를 식(9)와 같은 함수로 정의하였다.

$$y = y_1 + y_2 \exp(-\beta t) \quad \dots\dots\dots (9)$$

여기서 y는 t시점에서의 조작자의 수행도이고, y₁은 조작자의 수행도의 안정상태(steady-state performance)이고, y₁+y₂는 초기수행도이고, β는 조작자의 수행도의 감소율이다. 단, 조작자는 매 T시간마다 재훈련을 받으며 재훈련을 통하여 수행도는 처음 수준까지 향상된다. 따라서 P를 조작자의 평균수행도라고 할때 P는 식(10)과 같다.

$$P = \int_0^T y \, dt / T = y_1 + (y_2 / \beta T) \{1 - \exp(-\beta T)\} \quad \dots\dots (10)$$

수작업시와 모델 적용시의 평균수행도를 구하기 위하여 자격별, 임무과목별 연간요구량(17)과 임무과목별 비행기량 등급구분(18)을 기준하여 β, y₁, y₂ 값을 표4.7과 같이 구하였다.

표4.7 자격별 y_1 , y_2 , 및 β

資 格	y_1	y_2	β				
			任務(가)	任務(나)	任務(다)	任務(라)	任務(마)
教 官	0.60	0.35	0.046	0.023	0.023	0.033	0.017
編隊長	0.45	0.40	0.053	0.028	0.033	0.034	0.019
分隊長	0.30	0.45	0.060	0.034	0.040	0.036	0.022
僚 機	0.15	0.50	0.070	0.046	0.050	0.040	0.023

표4.8 자격별, 임무과목별 평균 수행도

資 格	資格別, 任務科目別 平均遂行度									
	任務(가)		任務(나)		任務(다)		任務(라)		任務(마)	
	手作業	모 델	手作業	모 델	手作業	모 델	手作業	모 델	手作業	모 델
教 官	0.8715	0.8813	0.9129	0.9245	0.8973	0.9007	0.8859	0.8931	0.9014	0.9080
編隊長	0.7100	0.7374	0.8200	0.8249	0.7831	0.7948	0.7596	0.7874	0.7545	0.7980
分隊長	0.5862	0.6036	0.6853	0.7110	0.6609	0.6609	0.6455	0.6721	0.6917	0.6769
僚 機	0.4614	0.4803	0.5662	0.5811	0.4806	0.5086	0.4973	0.5454	0.5034	0.5623

이러한 y_1, y_2, β 값과 각 승무원의 비행탑승간격을 이용하여 자격별, 임무과목별 평균수행도를 구한것이 표4.8이다.

결과적으로 수작업시 보다는 본 연구의 모델을 적용하여 일일 비행계획을 수립할때 승무원들의 임무과목별 탑승간격의 변동량이 감소되고, 각 승무원에게 임무를 보다 균등하게 할당할 수 있으며, 이와 같은 임무할당방법에 의하여 승무원들의 기량 향상을 기대할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 단위 비행체계의 일일 비행계획을 작성하기 위한 0-1 정수계획모델을 수립하였다. 0-1 정수계획모델은 체계의 운영정책을 반영한 비행시간표가 작성되어 있을 때, 여러 승무원의 임무과목별 탑승간격을 최대화하는 임무에 각 승무원을 할당하는 수단이 된다.

본 연구의 모델을 적용하여 일일 비행계획

을 작성한 결과 수작업 보다 승무원들의 임무 과목별 탑승간격의 변동량이 감소되며, 각 승무원에게 균형적으로 임무를 할당할 수 있음을 알 수 있게 되어 각 승무원의 기량을 보다 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

결론적으로 비행계획 수립자가 본 연구의 모델을 작성하게 되면 비행계획시 소모되는 업무량을 감소시키고, 각 승무원에게 균형적으로 임무를 할당 할 수 있어 단위 비행체계의 능력을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. Arabeyre, J., J.Fearnley, F.Steiger, and W.Teather. "The airline crew scheduling problem : a survey", Transportation Sci., 3(2), pp.140-163, 1969.
2. Arthur, J.L., and A.Ravindran. "A multiple objective nurse scheduling model", AJIE Trans 13(1), pp.55-60, 1981.
3. Baker, E., L.Bodin, W.Finnegan, and R.Ponder. "Efficient heuristic solution to an airline crew scheduling problem", AIIE Trans., 11(2), pp.79-85, 1979.
4. Ball, M., and A.Roberts. "A graph partitioning approach to airline crew scheduling", Transportation Sci., 19(2), pp.107-126, 1985.
5. Bodin, L., B.Golden, A.Assad, and M.Ball, "Routing and scheduling of vehicles and crews (the state of the art)", Computer and Ops Res., 10(2), pp.63-211, 1983
6. Etschmaier, M.M., and D.F.X. Mathaisel. "Airline scheduling : an overview", Transportation Sci., 19(2), pp.127-138, 1985.
7. Knauer, B.A. "Soulution of a timetable problem", Computers and Ops Res., 1, pp.363-375, 1974.
8. Lie, C.H., W.Kuo, F.A.Tilman, and C.L.Hwang. "Mission effectiveness model for a system with several mission types", IEEE Trans. on reliability, R-33(4), pp.346-352, 1984.
9. Marsten, R., F.Shepardson. "Exact solution of a crew scheduling problems using the set partitioning model : recent successful applications", Networks, 11(2), pp.167-177, 1981.

10. Marsten, R., M. Muller, and C. Killion. "Crew planning at flying tiger : a successful application of integer programming", Management Sci., 25. pp.1175-1183, 1979.
11. Miller, H. E., W. P. Pierskalla, and G. J. Rath. "Nurse scheduling using mathematical programming" Ops Res., 24(5), pp. 857-870, 1976.
12. Mulvey, J. M. "A classroom/time assignment model", European Journal of Operational Research, 9(1), pp. 64-70, 1982.
13. Spitzer, M. "Solution to the crew scheduling problem", AGIFORS Symp., October, 1961.
14. Tilman, F. A., C. H. Lie, and C. L. Hwang. "Simulation Model of Mission Effectiveness for Military Systems", IEEE Trans. on reliability, R-27(3), pp. 191-194, 1978.
15. Warner, D. M. "Scheduling nursing personnel according to nursing preference : a mathematical programming approach", Ops Res., 24(5), pp. 842-856, 1976
16. Werra, D. de. "An introduction to timetabling", European Journal of Operational Research, 19(2), pp. 151-162, 1985.
17. 공군 교범 51-5, "F-5E/F 공중 승무원 비행훈련", pp. 81-96, 1988.
18. 공군 작사 규정 55-205, "조종사 개인 비행 기량 관리", pp. 4-8, 1988.